

# 以結構性特徵及限制性合併為基礎之線上手寫注音 符號辨識

董呈煌

國立屏東商業技術學院  
資訊科技系  
chdong@npic.edu.tw

黃誌偉

國立屏東商業技術學院  
資訊科技應用研究所  
a906462@gmail.com

## 摘要

本論文提出一個高精度線上手寫注音符號辨識系統，該系統在訓練階段，首先建立含 37 個注音符號參考字形之注音符號參考資料庫，其中每個參考字形均依書寫筆劃順序由明筆線段及暗筆線段組成，並針對特定注音字形分別作結構性和限制性合併的標記。在辨識階段，使用者之手寫注音字形經線段抽取及大小正規化後，即與各參考注音符號字形作使用結構性特徵之動態規劃比對，並能得知手寫字形與參考字形間的線段對應關係，進一步提供特定參考注音與手寫字形作限制性合併之動態規劃比對，最後以最小相異值之參考注音為其辨識結果。經實驗證明本系統辨識單一線上手寫注音之辨識率已可達 99.95%。

關鍵詞：暗筆，結構性特徵，動態規劃，限制性合併

## Abstract

This paper proposes a high-accuracy on-line handwritten Chinese phonetic symbol recognition system. In the training stage, the system creates the database which contains the reference handwritten patterns of 37 Chinese phonetic symbols. According to the writing stroke sequence, the reference pattern of a phonetic symbol consists of both visible stroke segments and hidden stroke segments. The reference patterns of some specific phonetic symbols also contain the tags for structure features and limited merging operation. In the recognition stage, the stroke segments of the input handwritten phonetic symbol are first extracted and are then normalized. Next, dynamic programming is performed to match the input stroke segments with those of a reference phonetic symbol. Based on the stroke-matching result, the limited merging operation can be further performed to adjust the result of matching the input handwritten symbol with a specific reference phonetic symbol having the tag of limited merging operation. Finally, the matching result is the reference

phonetic symbol with the minimal difference value. The experimental result shows that the system's recognition accuracy is 99.95%.

**Keywords:** hidden stroke, structure feature, dynamic programming, limited merging operation

## 1、緒論

隨著電腦軟硬體技術的進步，廣泛使用的硬體不再侷限於配置標準鍵盤的個人電腦或筆記型電腦，小型電子設備的普遍應用更已蔚為風尚，例如 iPhone 即是一支結合照相手機、PDA、媒體播放器以及無線通訊裝置的掌上設備。因此使用者僅能用十來個按鍵的小型鍵盤來輸入中文，也成為無可避免之趨勢。在台灣，因為國人原本就熟悉中文注音輸入法，使用該輸入法原即具有免學易用之特性，故目前市場上的行動電話一定會具備中文注音輸入法。然而，小型電子設備提供之中文注音輸入法的實際使用效能並不佳，例如目前的行動電話普遍用 9 至 11 個按鍵對應到 37 個注音符號的注音鍵盤對應方式[1-3]，每個按鍵最多對應高達 6 個注音符號，使用者必須付出額外代價確認輸入注音符號正確性並選擇正確的注音拼音，故使用小型鍵盤上的注音輸入法之方便性及效能遠不如使用標準鍵盤上的注音輸入法。

期望小型設備能提供有效率的中文字輸入方式，線上手寫中文字辨識是另一項可能的選擇，國內外有關線上手寫中文辨識的研究長期以一直持續進行[4-8]，其辨識原理諸如有筆劃順序的方向特徵及向量矩陣的加權等方式，目前已有些手機及 PDA 提供線上手寫中文辨識的功能，然而，其實際使用之辨識率大約在 80% 左右，追究其辨識率難以提升之主要原因在於中文字的筆劃繁複，且不同人的筆劃順序經常差異過大，所以線上手寫中文辨識系統在實際辨識率的提升已達瓶頸。

在以往辨識注音符號一般使用模糊理論、類神經網路理論和建立注音基本筆劃，其

辨識率大多在 90% 左右[9-11]。而本論文先在注音符號參考資料庫中，針對 37 個參考注音之字形特點標示其結構性特徵(共有交叉結構及 T 型結構兩種)，交叉結構之結構性特徵是將每一參考字形中線段形成交叉特徵均予以標示，而 T 型結構之結構性特徵則是用於加強區別形狀相似的參考注音，例如「ㄌ」與「ㄣ」之主要差別，在於「ㄌ」有交叉結構，而「ㄣ」在相異處為一 T 型結構，雖然「ㄌ」之交叉結構已經標示，但若將「ㄣ」之相異處 T 型結構強調標示，則在辨識階段將提供參考注音「ㄌ」與「ㄣ」間更好的區別特徵。

一手寫字形經過筆劃抽取及大小正規化後，進行使用結構性特徵的動態規劃，與注音符號參考資料庫中的參考注音比對，即可以得到相當精準的前  $n$  個候選注音（實驗取  $n=10$ ）。因為特定注音(ㄋ、ㄗ、ㄘ、ㄙ、ㄥ、ㄌ)之手寫字形，經過線段抽取後，在最後一筆劃範圍經常出現較長的多餘線段，使比對結果尚有改進餘地，故本論文對特定注音(ㄋ、ㄗ、ㄘ、ㄙ、ㄥ、ㄌ)定義最後一筆劃為允許限制性線段合併之範圍，故再將手寫字形與特定候選注音(ㄋ、ㄗ、ㄘ、ㄙ、ㄥ、ㄌ)之允許限制性線段合併範圍進行動態規劃比對重新計算相異值，最後以最小相異值之參考注音為其辨識結果。經實驗證明，本系統對手寫單一注音辨識率高達 99.95%，本論文並建立手寫方格供使用者手寫中文字之注音組合，所有書寫之中文字注音組合均能正確辨識，已初步達成手寫中文字注音組合來輸入中文字的目的，使得達成在小型設備上具書寫容易及高辨識率特點的輸入中文方式成為可能。

以下第二節介紹本論文系統架構，第三節說明注音符號參考資料庫的產生，第四節說明手寫注音字形的線段抽取前處理，第五節闡述手寫字形與參考字形的單一線段比對差異值的計算，第六節說明手寫注音字形之動態規劃辨識，第七節說明針對特定候選注音進行允許限制性合併的動態規劃計算，第八節對常用變異筆順注音字形探討，第九節之實驗驗證本系統之辨識效能，第十節為本論文之結論。

## 2、系統架構

本論文提出的線上手寫注音符號辨識系統之架構如圖 1 所示，首先必須先建立一個線上手寫注音符號參考資料庫，其中含 37 個注音符號的標準筆順參考注音字形，而為了適應使用者常用的注音符號變異筆順寫法，該資料庫中亦包含常見之變異筆順參考注音符號字

形（共有 12 個注音符號之 18 種變異筆順寫法，詳細內容請見第 8 節），當使用者輸入手寫注音字形（例如手寫字形「ㄣ」）後，先經由線段抽取前處理，成為大小為  $100 \times 100$  之明暗筆順序線段字形，該線段字形再由使用線段結構性特徵之動態規劃法，與資料庫中之參考字形逐一比對，當比對之參考字形有線段使用結構性特徵（含交叉及 T 型兩種特徵），手寫注音中對應線段就會被使用該種結構性特徵進行比對計算，此種比對可以有效拉開手寫注音與相似參考注音（如「ㄣ」及「ㄌ」）間的比對差異值，在此階段比對結果取前  $n$  名（實驗取前 10 名）為候選注音，且每一候選注音與手寫注音間皆有專屬的暗筆線段對應關係，將屬於{ㄋ、ㄗ、ㄘ、ㄙ、ㄥ、ㄌ}的候選注音以該暗筆線段對應關係為基礎，使用其限制性合併之動態規劃法與手寫字形再進行細部比對，並依新相異值重新決定辨識結果。

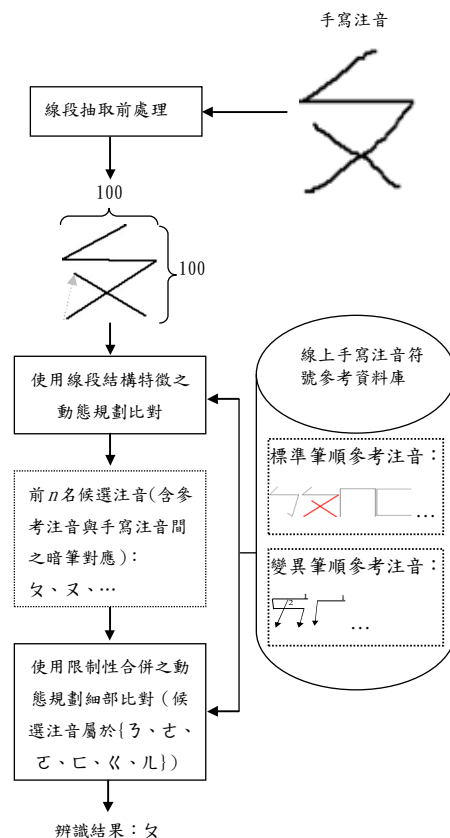


圖 1. 線上手寫注音符號辨識

## 3、線上手寫注音符號參考資料庫的產生

因本論文在辨識階段將使用線段為基本的辨識比對單位，故在此注音符號參考資料庫中，每個注音符號參考字形均以線段表示，如圖 2 (a)所示，注音符號「ㄣ」的手寫筆劃為一筆劃，故參考注音「ㄣ」將以四條方向性線段

適當的表示該筆劃，其中線段的(a,b)標記，表示第a筆劃的第b條線段，例如(1,3)表示該線段為第一筆劃的第三條構成線段。若一注音符號之筆劃多於一筆時，則將前一筆劃結束點至下一筆劃之開始點稱之為「暗筆」，可以提供筆劃移動的資訊，相對而言，一般筆劃即為「明筆」。圖2(b)所示為注音符號「ㄣ」的參考字形，含有二筆明筆筆劃，第一筆劃以三線段表示，且由第一筆劃結束點至第二筆劃開始點形成一暗筆(以一虛線線段表示)，第二筆劃則以一線段表示。

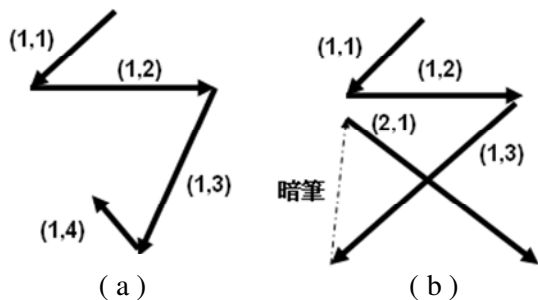


圖 2. (a)注音符號「ㄣ」的參考字形，僅含一筆劃(由四線段表示) (b)注音符號「ㄣ」的參考字形，第一筆劃由三線段表示，第一筆劃結束點至第二筆劃開始點為一暗筆，第二筆劃由一線段表示

本論文除以線段表示每一參考注音外，更提出可於辨識階段強化辨識效果的線段結構性特徵，為表示線段之結構性特徵，參考注音中每一線段皆有一 *shape* 屬性，可供該線段設定適當之結構性特徵。本論文提出之線段之結構性特徵共二種，第一種結構性特徵是交叉特徵，該種交叉特徵將廣泛引用於參考注音中，亦即參考注音的線段中，若有成交叉形狀的線段，原則上皆將標示為具有交叉特徵；第二種結構性特徵是 T 型特徵，該種 T 型特徵將僅使用於區別相似參考注音(例如用於區別參考注音「ㄗ」及「ㄘ」)，使用上範圍較小(實際僅用於標示參考注音「ㄣ」、「ㄥ」及「ㄘ」的特定線段)。

例如圖 3(a)中兩線段即形成一個交叉結構，故線段 AC 和 BD 的 *shape* 屬性皆設為交叉屬性 (*shape*="X")，且因兩線段互相交叉即將兩線段切割為四小線段，將該四小線段各取其線段長度佔原線段長度之比例值，再取其中最小值將之設為該交叉結構之最小交叉比例值(Minimal Cross Ratio，以 *MCR* 簡稱)。本例中 E 點為交叉點，線段 AC 之兩切割線段(AE 和 CE)比例值分別為 0.457 和 0.543，線段 BD

分割為 BE 和 DE 之比例值為 0.355 和 0.645，四個比例值中最小 (0.355) 即為該交叉結構之 *MCR* 值，故形成該交叉結構之線段均標示為 *shape*="X" 且 *MCR*=0.355。圖 3(b)中為實際使用之參考注音「ㄣ」，其中線段(1, 2)及(2, 1)形成交叉特徵，而線段之 *shape* 值皆標示為 "X"，且 *MCR*=0.250。

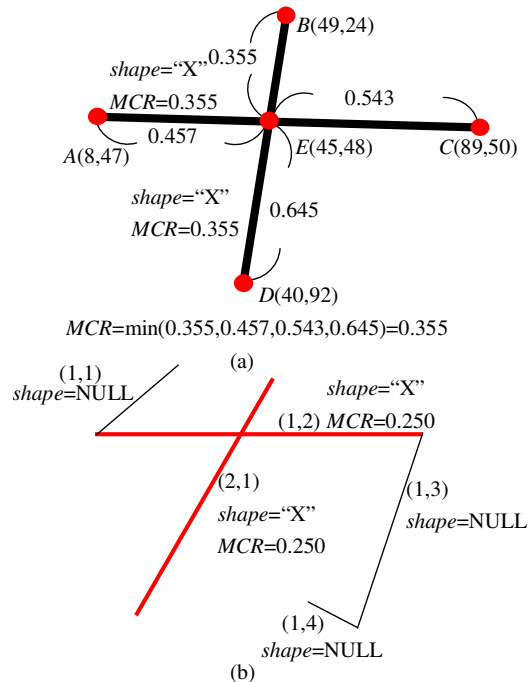


圖 3. (a)線段 AC 和 BD 形成交叉特徵，故 *shape* 屬性皆為 "X"，且以 E 點為交叉，0.457、0.355、0.543、0.645 分別為 AE、BE、CE 及 DE 四線段佔原線段長度的比例值，取其最小值 0.355 作為 *MCR* 值 (b) 參考字形「ㄣ」的(2,1)及(1,2)形成交叉特徵，故該線段之 *shape*="X" 及 *MCR*=0.250，其他線段沒有形成交叉特徵，因此 *shape* 值皆為 NULL

圖 4(a)是一個 T 型結構特徵的範例，線段 AC 及 BD 形成一 T 型結構，其 *shape* 屬性皆設為 "T"；而圖 4(b)為參考注音「ㄣ」的線段表示，因為參考注音「ㄣ」與「ㄥ」(如圖 3(b))的差異僅在線段(1, 2)和(2, 1)形成的結構不同，故參考注音「ㄣ」的線段(1, 2)和(2, 1)形成的 T 型結構，在區別參考注音「ㄣ」與「ㄥ」具有相當的重要性，故將線段(1, 2)和(2, 1)形成的 T 型結構保留，而(1,2)和(2,1)的 *shape* 屬性值皆為 "T"，其他線段則不形成結構性特徵，故其 *shape* 屬性值皆為 NULL。

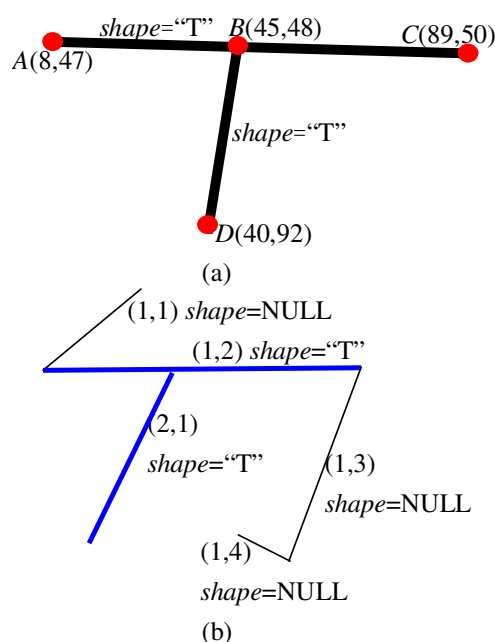


圖 4. (a)線段  $AC$  和  $BD$  形成 T 型特徵，故其  $shape$  屬性值皆設為“T” (b)參考注音「ㄉ」的線段 (1, 2)、(2, 1) 形成 T 型特徵，且用以與參考注音「ㄌ」區別，故保留此 T 型特徵，其  $shape$  屬性值皆設為“T”，而其他線段無結構特徵， $shape$  屬性值皆設為 NULL

表 1 列出注音符號參考資料庫中 37 個參考注音字形(暗筆省略)，均以線段表示，每個參考注音大小皆為  $100 \times 100$  點，但注音符號「一」因只有一橫筆劃，故僅能以長 100 點的水平線段表示。在參考注音中，紅色線段形成交叉特徵，其  $shape$  屬性值皆為“X”， $MCR$  值亦一併標示，參考注音「ㄝ」的第一筆線段(橫筆線段)因與兩筆線段均形成交叉特徵，因必須計算  $MCR$  值，故將其第二個交叉特徵忽略，此為參考注音中唯一交叉特徵未使用之處；而藍色線段為具區別能力之 T 型結構，使用於參考注音「ㄉ」、「ㄌ」及「ㄎ」，分別用以區別參考注音「ㄌ」、「ㄎ」及「ㄎ」，故其  $shape$  屬性值皆為“T”；剩餘線段為不具結構性或不具區別能力之 T 型結構的線段，因此其  $shape$  屬性值皆設為 NULL。

表 1. 參考注音字形及其線段結構性特徵(表中參考注音皆省略暗筆，紅色線段形成交叉特徵， $shape$ ="X"，藍色線段形成具區別能力之 T 型結構， $shape$ ="T"，其餘黑色線段之  $shape$ =NULL 均省略)

|  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

#### 4、手寫注音線段抽取前處理

本節說明當使用者線上手寫一注音符號字形時，系統將即時抓取手寫注音符號之筆劃感應點，並由這些感應點進行線段抽取及正規化。

本論文使用 Douglas-Peucker 演算法進行線段抽取，如圖 5 所示， $A$  至  $B$  為一手寫曲線，首先連接  $A$ 、 $B$  兩點成為  $\overline{AB}$ ，計算曲線上各點到線段  $\overline{AB}$  的最大垂直距離（本例即為  $|\overline{CD}|$ ），若最大垂直距離（ $|\overline{CD}|$ ）除以  $|\overline{AB}|$  之值大於預設的門檻值（ $TH_{SE}$ ，實驗時設為 0.1），則表示此點（ $C$  點）為  $A$  至  $B$  曲線上的截斷點，即曲線  $A$  至  $B$  可以截斷為曲線  $A$  至  $C$  及曲線  $C$  至  $B$ ，而可以用上述程序遞迴決定是否予以分割，若一曲線已至不可分割時，即以一連接曲線首尾點之線段，作為該曲線之抽取線段。圖 6(a)及 6(b)分別為線上手寫注音符號「ㄉ」及「ㄌ」的線段抽取結果，並正規化為  $100 \times 100$  的字形，以利後續辨識。



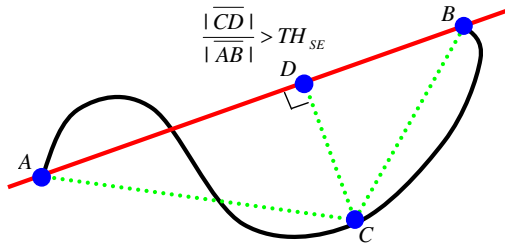


圖 5. 以 Douglas-Peucker 演算法進行遞迴式線段抽取

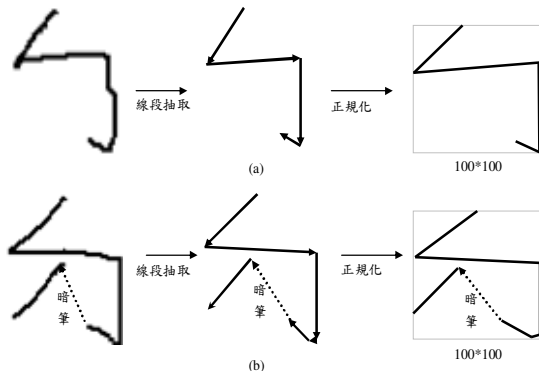


圖 6. (a)線上手寫注音符號「ㄣ」之線段抽取及正規化 (b)線上手寫注音符號「ㄣ」之線段抽取及正規化

### 5、手寫字形與參考字形的單一線段比對

使用者線上手寫之注音符號經過線段抽取及正規化後，成為由明筆線段及暗筆線段依序組成的字形，本節將說明如何計算手寫字形的一線段與參考字形的一線段之差異值，計算，後續將以此作為手寫字形及參考字形的整體相異值計算基礎。

線段差異值計算首先將使用線段的座標位置及結構性角度，其中座標位置使用為線段的起始點及結束點座標，而結構性角度則是使用該線段的角度及其前後筆線段之角度(角度值表示一方向性線段從起點至終點之向量角度，其值為 $0^{\circ} \sim 359^{\circ}$ )。例如圖 7 為參考注音符號「ㄌ」的線段結構性角度表示圖，其中標示為(1,2)之明筆線段(以 $S_{R,i}$ 表示)之角度為 $0^{\circ}$ ，且前後筆線段之角度各為 $225^{\circ}$ 及 $254^{\circ}$ (以 $S_{R,i}.ang_1$ 、 $S_{R,i}.ang_2$ 、 $S_{R,i}.ang_3$ ，代表前筆線段、自己及後筆線段之角度)，而標示為(2,1)之明筆線段(以 $S_{R,j}$ 表示)是第二筆劃的第一筆開頭，則會使用前一暗筆線段的角度作為前筆線段之角度，而因為該筆線段沒有後筆線段，因此以該線段自己之角度當作後筆線段之

角度，故該線段之結構性角度表示為  
 $S_{R,j}.ang_1 = 93^\circ$ 、 $S_{R,j}.ang_2 = 234^\circ$  及  
 $S_{R,j}.ang_3 = 234^\circ$ ，而標示為(1,1)之明筆線段  
 (以 $S_{R,k}$ 表示)因沒有前筆線段，因此以該線段  
 自己之角度當作前筆線段之角度，故該線段之  
 結構性角度表示為 $S_{R,k}.ang_1 = 225^\circ$ 、  
 $S_{R,k}.ang_2 = 225^\circ$  及 $S_{R,k}.ang_3 = 0^\circ$ 。

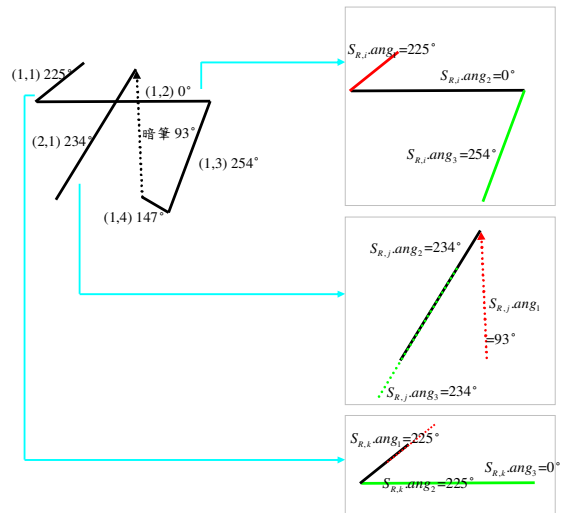


圖 7. 參考注音符號「ㄌ」之線段結構性角度表示

令使用者手寫字形之一線段  $S_U$  起點及終點座標為  $(S_U.x_S, S_U.y_S)$  及  $(S_U.x_E, S_U.y_E)$ ，而一特定參考注音符號中之一線段  $S_R$  起點及終點座標為  $(S_R.x_S, S_R.y_S)$  及  $(S_R.x_E, S_R.y_E)$ ，定義  $CD(S_U, S_R)$  (公式(1))如下，以計算兩線段之端點座標差：

$$CD(S_U, S_R) = \frac{\sqrt{(S_U \cdot x_S - S_R \cdot x_S)^2 + (S_U \cdot y_S - S_R \cdot y_S)^2} + \sqrt{(S_U \cdot x_E - S_R \cdot x_E)^2 + (S_U \cdot y_E - S_R \cdot y_E)^2}}{2} \quad (1)$$

並定義  $AD(S_U.ang_i, S_R.ang_i)$  (公式(2)) 計算兩線段之任一角度差：

$$\begin{aligned} AD(S_U.ang_i, S_R.ang_i) &= S_U.ang_i - S_R.ang_i \quad \text{if } |S_U.ang_i - S_R.ang_i| \leq 180 \\ &= 360 - |S_U.ang_i - S_R.ang_i| \quad \text{else} \end{aligned} \quad (2)$$

而兩線段之結構性角度差則定義為  $TAD(S_U, S_R)$  (公式(3)，其中  $W_1$ 、 $W_2$  及  $W_3$  於實驗設定為 0.5、3 及 2)：

$$TAD(S_U, S_R) = \sum_{p=1}^3 W_p * AD(S_U.ang_p, S_R.ang_p) \quad (3)$$

例如，圖 8 中線段  $S_{U,i}$  及  $S_{R,j}$  各為手寫注音符號「ㄣ」及參考字形「ㄣ」中的一線段，該兩線段之端點座標差  $CD(S_{U,i}, S_{R,i})$  為 17，而

該兩線段之結構性角度差  $TAD(S_{U,i}, S_{R,j})$  則為 87。

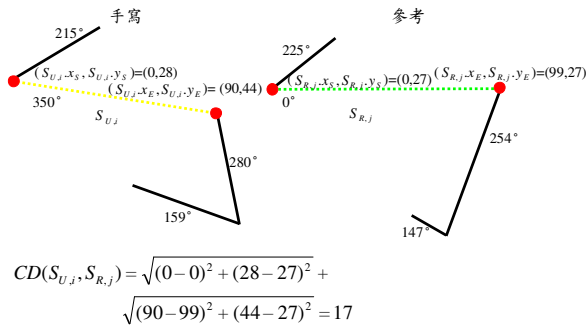


圖 8. 手寫注音符號「ㄣ」中  $S_{U,j}$  線段和參考注音符號「ㄣ」中  $S_{R,j}$  線段的  $CD(S_{U,j}, S_{R,j})$  及  $TAD(S_{U,j}, S_{R,j})$  計算

而手寫注音符號的線段  $S_U$  及參考字形的線段  $S_R$  之比對，是否必須使用交叉或 T 型之結構性特徵，則以參考字形中線段  $S_R$  之  $shape$  屬性值為依據，以下定義一  $STRUCT$  函數，其作用為當  $S_R$  線段設定為具有交叉或 T 型結構的前題時， $STRUCT(S_U, S_R)$  表示  $S_U$  與  $S_R$  之該結構特徵的相異程度。 $STRUCT(S_U, S_R)$  定義如下（用於最後計算兩線段整體差異值時， $STRUCT(S_U, S_R)$  具有放大差異值效果）：

$$STRUCT(S_U, S_R) = \begin{cases} W_{R,X} * |S_U.MCR - S_R.MCR| & \text{if } S_R.shape = "X" \\ W_{R,T} * S_U.MCR & \text{if } S_R.shape = "T" \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

故若  $S_R$  之  $shape$  屬性值為“X”（具交叉結構），若  $S_U$  具有交叉結構（則其  $MCR$  值非為 0），則可能得到較小之  $STRUCT(S_U, S_R)$  值，反之，若  $S_U$  不具交叉結構（其  $MCR$  值即為 0），則  $STRUCT(S_U, S_R)$  之值為  $W_{R,X} * |S_U.MCR - S_R.MCR| = W_{R,X} * S_R.MCR$ ，具有高懲罰性。而若  $S_R$  之  $shape$  屬性值為“T”（具 T 型結構），若  $S_U$  具有交叉結構（ $MCR$  值非為 0），則反具有高懲罰性（ $STRUCT(S_U, S_R)$  值為  $W_{R,T} * S_U.MCR$ ），若  $S_U$  不具有交叉結構（其  $MCR$  值即為 0），則完全不具懲罰性（ $STRUCT(S_U, S_R)$  值為 0）。若  $S_R$  之  $shape$  屬性值為“NULL”，則  $STRUCT(S_U, S_R)$  值恆為 0。參數  $W_{R,T}$  及  $W_{R,X}$  於實驗分別設定為 3 與 1。

例如，圖 9 中參考字形「ㄣ」的線段  $S_{R,k}$

將與手寫字形「ㄣ」及「ㄣ」的線段  $S_{U,i}$  及  $S_{U,j}$  分別計算  $STRUCT$  值； $S_{R,k}$  設定為具交叉結構，故其  $shape$  屬性值為“X”且  $MCR=0.25$  值，因手寫字形「ㄣ」的  $S_{U,i}$  具交叉結構（ $MCR=0.35$ ），故  $STRUCT(S_{U,i}, S_{R,k}) = 0.1$ ，而手寫字形「ㄣ」的  $S_{R,j}$  不具交叉結構（ $MCR=0$ ），故  $STRUCT(S_{U,j}, S_{R,k}) = 0.25$ ，具有較高懲罰性。而圖 10 中參考字形「ㄣ」的線段  $S_{R,k}$  之  $shape$  屬性值為“T”（因參考字形「ㄣ」此處設為 T 型結構，可與參考字形「ㄣ」有明顯結構區別），因手寫字形「ㄣ」的  $S_{U,i}$  具交叉結構（ $MCR=0.35$ ），故  $STRUCT(S_{U,i}, S_{R,k}) = 1.05$ （被嚴重懲罰），而手寫字形「ㄣ」的  $S_{U,j}$  不具交叉結構（ $MCR=0$ ），故  $STRUCT(S_{U,j}, S_{R,k}) = 0$ （無懲罰），因此在參考字形「ㄣ」及「ㄣ」的相異處各別強制引用交叉及 T 型結構，在線段差異值計算將可更明顯區別其兩者之差異。

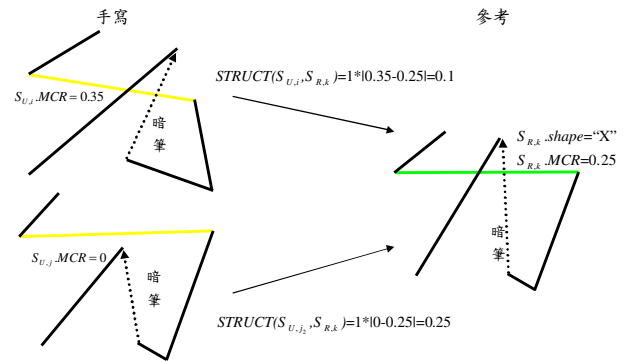


圖 9. 參考注音符號「ㄣ」的線段  $S_{R,k}$  與手寫注音符號「ㄣ」及「ㄣ」的線段  $S_{U,i}$  及  $S_{U,j}$  之  $STRUCT$  值計算。

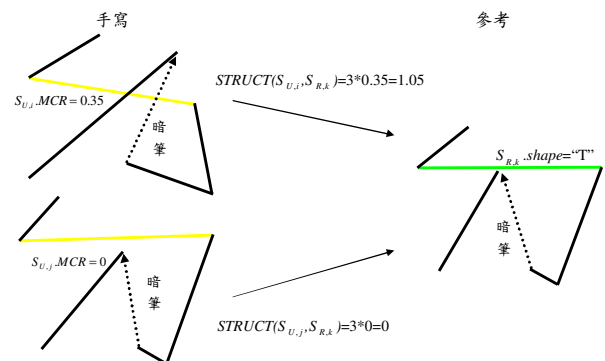


圖 10. 參考注音符號「ㄣ」的線段  $S_{R,k}$  與手寫注音符號「ㄣ」及「ㄣ」的線段  $S_{U,i}$  及  $S_{U,j}$  之  $STRUCT$  值計算。

要完整定義線段  $S_U$  及線段  $S_R$  的總差異值，尚需考慮  $S_U$  及  $S_R$  間的明暗筆屬性關係，

令一線段的明暗筆屬性為  $Type$ ，若  $S_U$  為明筆線段，則  $S_U.Type = V(visible)$ ，否則  $S_U.Type = H(Hidden)$  (即為暗筆)，故令線段  $S_U$  及線段  $S_R$  的明暗筆屬性調整參數為  $W_{S_U.Type, S_R.Type}$  (共有  $W_{V,V}$ 、 $W_{V,H}$ 、 $W_{H,V}$  及  $W_{H,H}$  四種，在實驗中設定為  $W_{V,V}=3$ 、 $W_{V,H}=W_{H,V}=6$  及  $W_{H,H}=2$ )，且為平衡  $CD$  值及  $TDA$  值，亦設定  $W_{TAD}$  權重參數 (實驗值  $W_{TAD}=0.4$ )，定義  $S_U$  及  $S_R$  之總差異值  $TD(S_U, S_R)$  如公式(5)。

$$TD(S_U, S_R) = W_{S_U.Type, S_R.Type} * (CD(S_U, S_R) + TAD(S_U, S_R) * W_{TAD}) * (1 + STRUCT(S_U, S_R)) \quad (5)$$

## 6、手寫注音字形之動態規劃辨識

本節將使用上節定義手寫注音符號的一線段與參考注音符號的一線段之相異值計算為基礎，對手寫注音符號與一參考注音符號的筆劃線段進行動態規劃計算，以求得兩者比對的最小相異值。

本論文使用動態規劃方法計算所得之最小相異值，可視為將手寫注音符號修改為參考注音符號之成本，故尚須定義一線段  $S$  之插入或刪除成本  $C_{Ins/Del}(S)$ ，定義如下

$$C_{Ins/Del}(S) = W_{Ins/Del} * |S| \quad (6)$$

其中  $|S|$  為線段  $S$  之長度，而參數  $W_{Ins/Del}$  於實驗之設定值為 14。

令一手寫注音符號由  $M$  線段 ( $S_{U,1}, S_{U,2}, \dots, S_{U,M}$ ) 順序組成，一參考注音符號由  $N$  線段 ( $S_{R,1}, S_{R,2}, \dots, S_{R,N}$ ) 順序組成，則動態規劃計算函數  $DP(i, j) (i \leq M, j \leq N)$  將計算手寫注音符號的前  $i$  筆線段與參考注音符號的前  $j$  筆線段的最佳比對：

$$DP(i, j) = \min_{i \leq M, j \leq N} \{ DP(i-1, j-1) + TD(S_{U,i}, S_{R,j}), DP(i-1, j) + C_{Ins/Del}(S_{U,i}), DP(i, j-1) + C_{Ins/Del}(S_{R,j}) \} \quad (7)$$

例如，於圖 11 中，手寫注音符號「ㄅ」經過正規化後，以五明筆線段及一暗筆線段表示，而參考注音符號「ㄅ」以五明筆線段及一暗筆線段表示 (其中線段  $S_{R,1}$  及  $S_{R,3}$  成為 T 型結構)，參考注音符號「ㄅ」則以四明筆線段及一暗筆線段表示 (其中線段  $S_{R,1}$  及  $S_{R,3}$  成為交叉結構)，表 2(a) 為手寫注音符號「ㄅ」的線段屬性表，因為手寫注音之每一線段用於與參考注音之一線段計算相異值時，係以該參考注音線段之結構特徵標示為依據 (即該線段之

結構特徵屬性  $shape$  之值為「X」、「T」或 NULL)，而被動參與公式(4)之計算，該手寫注音線段最多只需要提供該線段之  $MCR$  值，故表 2(a) 中每一手寫注音線段皆標示偵測之  $MCR$  (即先偵測該手寫注音線段是否有與其他線段交叉，若無交叉，則  $MCR=0$ ，若有交叉，則依兩交叉線段之方式計算  $MCR$  值)，而表中  $S_{U,1}$  及  $S_{U,3}$  成為交叉結構，故得非零之  $MCR$  值 ( $MCR=0.278$ )。表 2(b) 為參考注音符號「ㄅ」的線段屬性表，因為的  $S_{R,1}$  及  $S_{R,3}$  所形成的 T 型結構，是區別參考注音符號「ㄅ」與「ㄅ」非常重要的結構性特徵，所以  $S_{R,1}$  及  $S_{R,3}$  的「結構特徵」欄位均標示「 $shape="T"$ 」。表 2(c) 為參考注音符號「ㄅ」的線段屬性表，因為的  $S_{R,1}$  及  $S_{R,3}$  形成交叉結構，所以  $S_{R,1}$  及  $S_{R,3}$  的「結構特徵」欄位均標示「 $shape="X"$ 」，且  $MCR$  值均為 0.353。

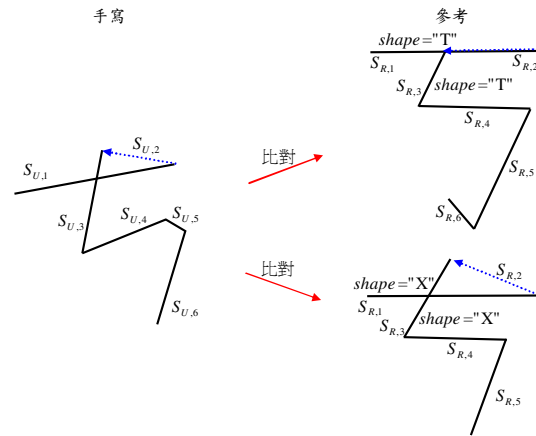


圖 11. 正規化後的手寫注音「ㄅ」將與參考注音「ㄅ」及「ㄅ」各別進行比對

表 2. (a)圖 11 中手寫注音「ㄅ」的 6 條線段之相關屬性值 (b)圖 11 中參考注音「ㄅ」的 6 條線段之相關屬性值 (c)圖 11 中參考注音「ㄅ」的 5 條線段之相關屬性值

(a)

| 線段<br>編號  | 筆劃<br>編號 | 屬性 | 結構<br>特徵    | 起始<br>座標 | 終點<br>座標 |
|-----------|----------|----|-------------|----------|----------|
| $S_{U,1}$ | 1        | 明  | $MCR=0.278$ | (0,24)   | (93,7)   |
| $S_{U,2}$ |          | 暗  | $MCR=0$     | (93,7)   | (51,0)   |
| $S_{U,3}$ | 2        | 明  | $MCR=0.278$ | (51,0)   | (39,58)  |
| $S_{U,4}$ | 2        | 明  | $MCR=0$     | (39,58)  | (88,39)  |
| $S_{U,5}$ | 2        | 明  | $MCR=0$     | (88,39)  | (99,45)  |
| $S_{U,6}$ | 2        | 明  | $MCR=0$     | (99,45)  | (82,99)  |

(b)

| 線段<br>編號  | 筆劃<br>編號 | 屬性 | 結構<br>特徵     | 起始<br>座標 | 終點<br>座標 |
|-----------|----------|----|--------------|----------|----------|
| $S_{R,1}$ | 1        | 明  | $shape="T"$  | (0,0)    | (99,0)   |
| $S_{R,2}$ |          | 暗  | $shape=NULL$ | (99,0)   | (52,0)   |
| $S_{R,3}$ | 2        | 明  | $shape="T"$  | (52,0)   | (29,30)  |
| $S_{R,4}$ | 2        | 明  | $shape=NULL$ | (29,30)  | (75,30)  |
| $S_{R,5}$ | 2        | 明  | $shape=NULL$ | (75,30)  | (58,99)  |
| $S_{R,6}$ | 2        | 明  | $shape=NULL$ | (58,99)  | (34,86)  |

(c)

| 線段<br>編號  | 筆劃<br>編號 | 屬性 | 結構<br>特徵                   | 起始<br>座標 | 終點<br>座標 |
|-----------|----------|----|----------------------------|----------|----------|
| $S_{R,1}$ | 1        | 明  | $shape="X"$<br>$MCR=0.353$ | (0,22)   | (99,22)  |
| $S_{R,2}$ |          | 暗  | $shape=NULL$               | (99,22)  | (49,0)   |
| $S_{R,3}$ | 2        | 明  | $shape="X"$<br>$MCR=0.353$ | (49,0)   | (22,44)  |
| $S_{R,4}$ | 2        | 明  | $shape=NULL$               | (22,44)  | (82,44)  |
| $S_{R,5}$ | 2        | 明  | $shape=NULL$               | (82,44)  | (60,99)  |

後續將先進行手寫注音符號「ㄅ」與參考注音符號「ㄅ」的動態規劃比對前置準備，即由表 2(a)和表 2(b)中各任取一線段後，依公式(5)計算兩線段之相異值，結果如表 3(a)；應注意參考注音「ㄅ」的 $S_{R,1}$ 及 $S_{R,3}$ 形成 T 型結構，但手寫注音「ㄅ」的 $S_{U,1}$ 及 $S_{U,3}$ 的 $MCR$ 值皆為 0.278 (因形成交叉結構)，故當 $S_{R,1}$ 、 $S_{R,3}$

與 $S_{U,1}$ 、 $S_{U,3}$ 兩兩以公式(5)計算相異值時， $S_{U,1}$ 及 $S_{U,3}$ 之非零 $MCR$ 值將使線段相異值呈放大效果，例如表 3(a)中的 $S_{R,1}$ 及 $S_{U,1}$ 之相異值，若未計算 $STRUCT$ 函數之懲罰效果值(可視為令 $STRUCT(S_{U,1}, S_{R,1})=0$ )，則相異值僅有 198 (括號中的值)，若加計 $STRUCT(S_{U,1}, S_{R,1})$ 之效果(此時 $STRUCT(S_{U,1}, S_{R,1})=0.834$ )，則相異值即增至 363，可得知參考字形線段之結構性特徵為 T 型結構時，若對應之手寫字形線段之結構性特徵為交叉結構時(此時 $MCR$ 值大於 0)，兩者的線段相異值將被放大，但若對應之手寫字形線段之結構性特徵不為交叉結構時(此時 $MCR$ 值等於 0)，則兩者的線段相異值將不受 $STRUCT$ 函數值的影響(因此 $STRUCT(S_{U,1}, S_{R,1})=0$ )。同理，手寫注音符號「ㄅ」與參考注音符號「ㄅ」的動態規劃比對前置準備，即由表 2(a)和表 2(c)中各任取一線段後，依公式(5)計算兩線段之相異值，結果如表 3(b)；應注意參考注音「ㄅ」的 $S_{R,1}$ 及 $S_{R,3}$ 形成交叉結構( $MCR=0.353$ )，而手寫注音「ㄅ」的 $S_{U,1}$ 及 $S_{U,3}$ 亦形成交叉結構( $MCR=0.278$ )，故當 $S_{R,1}$ 、 $S_{R,3}$ 與手寫注音非屬交叉結構之線段( $MCR=0$ )計算相異值時，該線段將因非屬交叉結構而受懲罰(即 $STRUCT$ 函數值皆為 0.353)，例如的 $S_{R,1}$ 與 $S_{U,4}$ 計算相異值，若不考慮 $STRUCT$ 函數值之影響，則相異值原為 1056 (表中括號內之值)，但加計 $STRUCT(S_{U,1}, S_{R,4})=0.353$ 之影響，則相異值增為 1430 ( $=1056*(1+0.353)$ )；而若 $S_{R,1}$ 、 $S_{R,3}$ 與手寫注音屬於交叉結構之線段( $MCR>0$ )計算相異值時，該線段將因同屬交叉結構而受懲罰之比例可能為之降低，例如的 $S_{R,1}$ 與 $S_{U,1}$ 計算相異值，若不考慮 $STRUCT$ 函數值之影響，則相異值原為 167 (表中括號內之值)，但加計 $STRUCT(S_{U,1}, S_{R,1})=0.353-0.278=0.075$ 之影響，則相異值僅增至 179 ( $=167*(1+0.075)$ )，故可得兩線段若同屬交叉結構，則受懲罰之比例可能為之降低。可知線段使用結構性特徵(含交叉特徵及 T 型特徵)，可令手寫字形與形狀近似的參考字形(如「ㄅ」及「ㄅ」)間的辨識能力增加。



表 3. (a)手寫注音「ㄣ」和參考注音「ㄣ」的  $TD$  相異值(黃色欄位代表該參考注音線段為 T 型結構特徵, 括號內的值代表若沒有使用 T 型結構特徵所計算得的差異值) (b)手寫注音「ㄣ」和參考注音「ㄣ」的  $TD$  相異值(藍色欄位代表該參考注音線段為交叉結構特徵, 括號內的值代表若沒有使用交叉結構特徵所計算得的差異值)

|           | $S_{R,1}$      | $S_{R,2}$ | $S_{R,3}$      | $S_{R,4}$ | $S_{R,5}$ | $S_{R,6}$ |
|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| $S_{U,1}$ | 363<br>(198)   | 3165      | 3450<br>(1879) | 664       | 1206      | 1510      |
| $S_{U,2}$ | 3268<br>(3268) | 124       | 2181<br>(2181) | 2733      | 2503      | 2302      |
| $S_{U,3}$ | 3070<br>(1672) | 2866      | 578<br>(315)   | 1294      | 880       | 1510      |
| $S_{U,4}$ | 1081<br>(1081) | 3427      | 1328<br>(1328) | 541       | 1740      | 1696      |
| $S_{U,5}$ | 855<br>(855)   | 2453      | 1434<br>(1434) | 559       | 1040      | 1874      |
| $S_{U,6}$ | 1492<br>(1492) | 1870      | 1086<br>(1086) | 1101      | 570       | 1336      |

(a)

|           | $S_{R,1}$  | $S_{R,2}$ | $S_{R,3}$  | $S_{R,4}$ | $S_{R,5}$ |
|-----------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| $S_{U,1}$ | 179(167)   | 2949      | 1991(1852) | 660       | 1492      |
| $S_{U,2}$ | 3477(3477) | 140       | 2317(2317) | 2941      | 1771      |
| $S_{U,3}$ | 1676(1559) | 3106      | 288(268)   | 1373      | 979       |
| $S_{U,4}$ | 1430(1056) | 3059      | 1807(1335) | 517       | 1435      |
| $S_{U,5}$ | 1157(855)  | 2561      | 1901(1404) | 542       | 703       |
| $S_{U,6}$ | 2019(1492) | 1960      | 1439(1063) | 1071      | 178       |

(b)

圖 12(a)為以表 3(a)為基礎, 進行動態規劃計算手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」的最佳比對結果, 所得最小相異值為 2733; 而圖 12(b)為圖 12(a)之手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」的動態規劃筆劃對應結果, 對應線段以虛線相連, 例如線段  $S_{U,1}$  對應線段  $S_{R,1}$ , 線段  $S_{U,2}$  對應線段  $S_{R,2}$  等, 應注意線段  $S_{U,5}$  為刪除之線段, 線段  $S_{R,6}$  為插入之線段。同理, 圖 13(a)為以表 3(b)為基礎, 進行動態規劃比對手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」最佳結果, 所得最小相異值為 1477 (遠小於圖 12(a)之值 2733); 圖 13(b)為手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」的筆劃對應結果, 應注意僅線段  $S_{U,5}$  為刪除之線段。

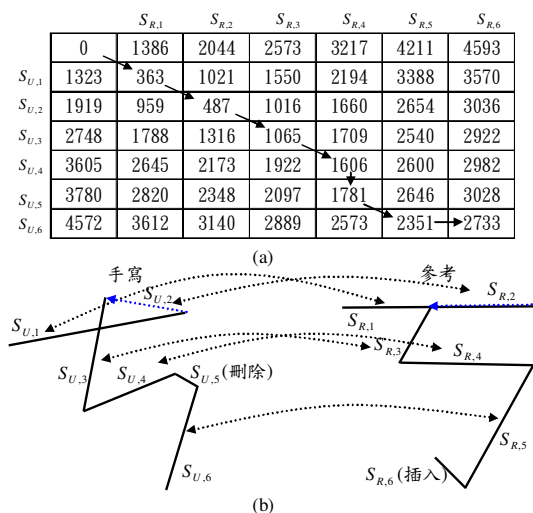


圖 12. (a)以表 3(a)為基礎之手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」之動態規劃比對結果 (b)手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」動態規劃比對結果之線段對應

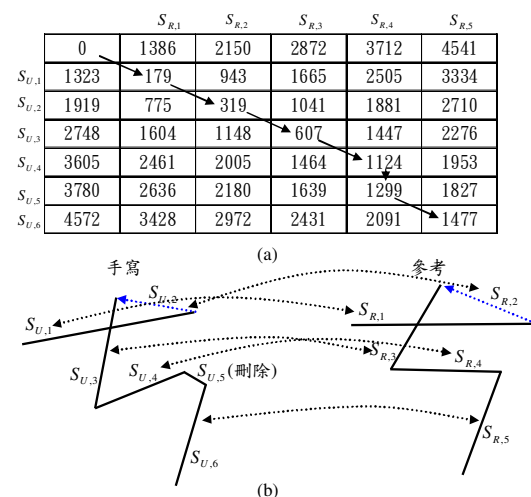


圖 13. (a)以表 3(b)為基礎之手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」之動態規劃比對結果 (b)手寫注音「ㄣ」與參考注音「ㄣ」動態規劃比對結果之線段對應

若將手寫注音與 37 個參考注音各別進行動態規劃比對計算相異值, 可將相異值最小的前  $n$  個 (實驗值  $n=10$ ) 參考注音取為候選注音, 以提供下一節部分需要使用合併特性的參考注音細部處理的依據。例如, 圖 14(a)為以圖 11 中的手寫注音「ㄣ」與 37 個參考注音 (線段使用交叉及 T 型結構) 各別進行動態規劃計算相異值後, 所取得前 10 名參考注音及比對值, 得到的結果非常好, 第一名候選注音「ㄣ」即為正確注音符號, 且相異值 1477 遠小於第二名候選注音「ㄣ」的相異值 (=2393)。然而, 若相同過程, 但 37 個參考注音之線段均不使用交叉及 T 型結構, 則所取得前 10 名參考注

音及比對值如圖 14(b)，則由字形相似之參考注音「ㄅ」成為第二名候選注音，故可得知線段若使用結構性特徵，可明顯增加相似注音符號（如本例之「ㄅ」與「ㄅ」）間之區別性。

| 候選注音 | 相異值  |
|------|------|
| ㄅ    | 1477 |
| ㄆ    | 2393 |
| ㄇ    | 2490 |
| ㄏ    | 2712 |
| ㄏ    | 2733 |
| ㄏ    | 2768 |
| ㄏ    | 2887 |
| ㄏ    | 3147 |
| ㄏ    | 3385 |
| ㄏ    | 3434 |

(a)

| 候選注音 | 相異值  |
|------|------|
| ㄅ    | 1445 |
| ㄆ    | 2305 |
| ㄇ    | 2393 |
| ㄏ    | 2486 |
| ㄏ    | 2712 |
| ㄏ    | 2768 |
| ㄏ    | 2887 |
| ㄏ    | 3147 |
| ㄏ    | 3385 |
| ㄏ    | 3415 |

(b)

圖 14. (a)使用線段結構性特徵為基礎之手寫注音「ㄅ」前 10 名候選注音選取結果 (b)無使用線段結構性特徵之手寫注音「ㄅ」前 10 名候選注音選取結果，其中相似注音「ㄅ」及「ㄅ」之距離明顯接近（參考注音「ㄅ」成為第二名參考注音）

## 7、特定候選注音的限制性合併動態規劃計算

在上一節，經過動態規劃已得到前  $n$  名候選注音及每個候選注音與手寫注音間之專屬線段對應關係，而針對屬於{ㄅ、ㄆ、ㄇ、ㄏ、ㄏ、ㄏ}的候選注音，於本節將再經由限制性合併的動態規劃法進行細部比對，以重新計算差異值，提升辨識精確度。

經實驗觀察，表 4 所列參考注音（即“ㄅ、ㄆ、ㄇ、ㄏ、ㄏ、ㄏ”）中的最後一筆劃範圍，在手寫注音進行線段抽取前處理後，所得之明筆線段結果，經常出現如圖 15 所示之多餘且已達相當長度之線段，僅使用第 6 節中之刪除動作，將經常導致手寫注音與正確參考注音之比對值偏高，而影響辨識正確率。故本論文針對屬於{ㄅ、ㄆ、ㄇ、ㄏ、ㄏ、ㄏ}的候選注音，在最後一筆劃的線段限制範圍，使用具合併功能的動態規劃計算再進行精確的比對計算，以提升比對效果。

表 4. 將對 6 個參考注音最後一筆劃(綠色線段部分)進行具限制性合併功能的動態規劃比對

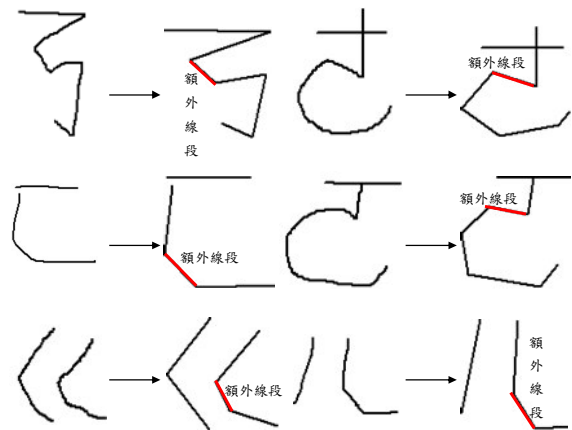
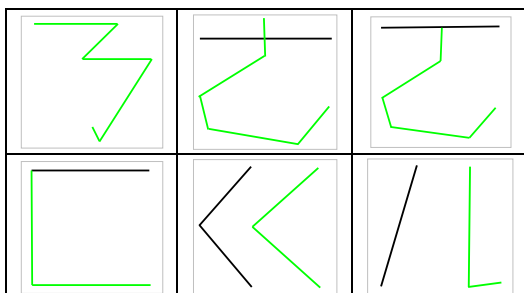


圖 15. 經實驗觀察，手寫注音「ㄅ」、「ㄆ」、「ㄇ」、「ㄏ」、「ㄏ」及「ㄏ」經過線段抽取前處理後，在最後一筆劃經常出現較長的額外線段，將經常導致手寫注音與正確參考注音之相異值提高

因本論文係針對手寫注音進行比對辨識，所辨識之對象為筆劃及線段數均不多的手寫注音字形，故本論文使用之合併功能，限定範圍於手寫注音對應到一個屬於{ㄅ、ㄆ、ㄇ、ㄏ、ㄏ、ㄏ}的候選注音時，就手寫注音之明筆線段對應到該候選注音的最後一筆劃部分，才賦予可進行手寫注音之二筆明筆線段合併成一筆線段之動作。

本論文先就如何將二筆明筆線段合併成一筆線段之通則說明，如圖 16 所示， $S_{U,i}$  及  $S_{U,i+1}$  是手寫注音的連續二筆明筆線段，欲合併為一條新的明筆線段  $S_{U,i}^*$ ，必須定義合併  $S_{U,i}$  及  $S_{U,i+1}$  成為  $S_{U,i}^*$  後， $S_{U,i}^*$  的角度及長度計算公式，及合併  $S_{U,i}$  及  $S_{U,i+1}$  成為  $S_{U,i}^*$  的合併成本。令一線段  $S_{U,i}$  的長度為  $S_{U,i}.len$ ，則  $S_{U,i}^*$  的長度計算如公式(8)所定，為  $S_{U,i}$  及  $S_{U,i+1}$  的長度相加：

$$S_{U,i}^*.len = S_{U,i}.len + S_{U,i+1}.len \quad (8)$$

而  $S_{U,i}^*$  角度的計算，則先依據公式(9)求得該以  $S_{U,i}$  或  $S_{U,i+1}$  為主，將求得的依據線段 ( $S_{U,i}$  或  $S_{U,i+1}$ ) 之角度及長度設為  $O_x$  和  $L_x$  的值；新合併線段之角度則使用公式(10)計算可得：

$$(O_x, L_x) = (S_{U,i}.ang_2, S_{U,i}.len) \quad \text{if } ((S_{U,i}.ang_2 - S_{U,i+1}.ang_2 \leq 180) \text{ and } (S_{U,i}.ang_2 \leq S_{U,i+1}.ang_2) \text{ or } (S_{U,i}.ang_2 - S_{U,i+1}.ang_2 > 180) \text{ and } (S_{U,i}.ang_2 > S_{U,i+1}.ang_2)) \\ = (S_{U,i+1}.ang_2, S_{U,i+1}.len) \quad \text{else} \quad (9)$$

$$S_{U,i}^*.ang_2 = O_x + AD(S_{U,i}.ang_2, S_{U,i+1}.ang_2) * (1 - L_x / (S_{U,i}.len + S_{U,i+1}.len)) \quad (10)$$

而將二筆連續明筆線段  $S_{U,i}$ 、 $S_{U,i+1}$  合併成一筆新的明筆線段  $S_{U,i}^*$  合併成本定義如公式 (11)，其中  $LPG$  (Length Per Segment) 為待合併字形的平均線段長度：

$$R(S_{U,i} \cdot S_{U,i+1} \rightarrow S_{U,i}^*) = (S_{U,i}^*.len / LPG) \cdot \sum_{j=i}^{i+1} (AD(S_{U,i}^*.ang_2, S_{U,j}.ang_2) \cdot S_{U,j}.len / S_{U,i}^*.len) \quad (11)$$

例如圖 16 中，其中有二線段  $S_{U,i}$  及  $S_{U,i+1}$  欲合併為一條新的明筆線段  $S_{U,i}^*$ ，則  $S_{U,i}^*$  長度為  $S_{U,i}^*.len = 80 + 28 = 108$ ，可得知新合併的線段總長度是 108，而  $O_x$  和  $L_x$  是 315 和 28，而新線段角度是 355，並計算其合併成本是 52。

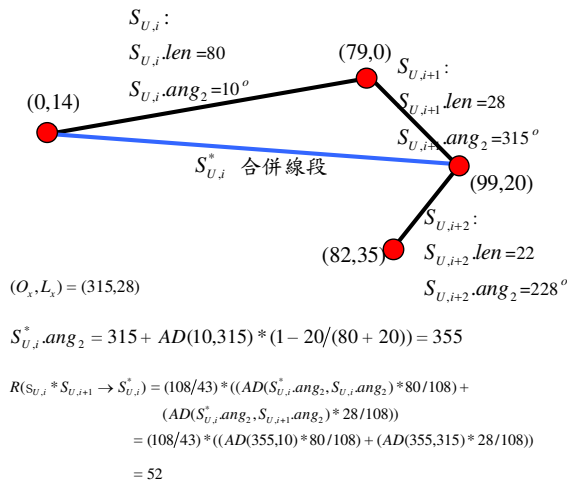


圖 16. 線段  $S_{U,i}$  和  $S_{U,i+1}$  合併成一條新線段  $S_{U,i}^*$ ，合併之成本為 52

令參考注音符號  $R$  為一屬於{ㄋ、ㄍ、ㄗ、ㄘ、ㄙ、ㄌ、ㄦ}之一的候選參考注音， $R$  是由  $N$  線段  $(S_{R,1}, S_{R,2}, \dots, S_{R,N})$  順序組成，而手寫注音符號  $U$  是由  $M$  線段  $(S_{U,1}, S_{U,2}, \dots, S_{U,M})$  順序組成。使用上一節動態規劃的方法，假設暗筆對應為  $S_{U,p}$  對  $S_{R,q}$ ，針對參考注音  $R$  必須作最後一筆劃之限制性合併動態規劃，因此參考注音  $R$  會以暗筆  $S_{R,q}$  分割成  $S_R^1$  子圖和  $S_R^2$  子圖，手寫注音  $U$  以線段對應  $S_{R,q}$  的  $S_{U,p}$  分割成  $S_U^1$  子圖和  $S_U^2$  子圖。因  $S_R^1$  子圖不是最後一筆劃，因此  $S_R^1$  子圖比對  $S_U^1$  子圖使用上一節動態規劃便可知其相異值，其中手寫注音符號  $S_U^1$  子圖由  $p$  線段  $(S_{U,1}, S_{U,2}, \dots, S_{U,p})$  順序組成，參考注音符號  $S_R^1$  子圖由  $q$  線段

$(S_{R,1}, S_{R,2}, \dots, S_{R,q})$  順序組成。 $S_R^2$  子圖是參考注音  $R$  的最後一筆劃，因此  $S_R^2$  子圖比對  $S_U^2$  子圖使用公式 (12) 限制性合併動態規劃可求得其相異值，其中手寫注音符號  $S_U^2$  子圖由  $M-p$  線段  $(S_{U,p+1}, S_{U,p+2}, \dots, S_{U,M})$  順序組成，經重新編號為  $(S'_{U,1}, S'_{U,2}, \dots, S'_{U,M-p})$  順序組成，參考注音符號  $S_R^2$  子圖由  $N-q$  線段  $(S_{R,q+1}, S_{R,q+2}, \dots, S_{R,N})$  順序組成，經重新編號為  $(S'_{R,1}, S'_{R,2}, \dots, S'_{R,N-q})$  順序組成。然後將各自比對的兩相異值相加，即為手寫注音  $U$  和參考注音  $R$  的新總相異值。

$$DP'(i, j) = \min_{i \leq M-p, j \leq N-q} \{ DP'(i-1, j-1) + TD(S'_{U,i}, S'_{R,j}), \\ DP'(i-1, j) + C_{Ins/Del}(S'_{U,i}), \\ DP'(i, j-1) + C_{Ins/Del}(S'_{R,j}), \\ DP'(i-2, j-1) + R(S'_{U,i-1}, S'_{U,i}) \rightarrow S''_{U,i} + TD(S''_{U,i}, S'_{R,j}) \} \quad (12)$$

例如圖 17 中，手寫注音符號「儿」經過線段抽取前處理後，以四明筆線段和一暗筆線段表示，而參考注音符號「儿」則以三明筆線段和一暗筆線段表示。因參考注音「儿」必須作最後一筆劃的限制性合併動態規劃，其暗筆對應為  $S_{U,2}$  對  $S_{R,2}$ ，因此參考注音「儿」會分割成圖 17 中的  $S_R^1$  子圖和  $S_R^2$  子圖，手寫注音「儿」則以線段對應  $S_{R,2}$  的  $S_{U,2}$  分割成圖 17 中的  $S_U^1$  子圖和  $S_U^2$  子圖， $S_U^1$  子圖其手寫注音符號由 2 線段  $(S_{U,1}, S_{U,2})$  順序組成， $S_R^1$  子圖其參考注音由 2 線段  $(S_{R,1}, S_{R,2})$  順序組成。 $S_U^2$  子圖其手寫注音符號由 3 線段  $(S_{U,3}, S_{U,4}, S_{U,5})$  順序組成，經重新編號為  $(S'_{U,1}, S'_{U,2}, S'_{U,3})$  順序組成，參考注音由 2 (參考注音「儿」的總線段數 4-2) 線段  $(S_{R,3}, S_{R,4})$  順序組成，經重新編號為  $(S'_{R,1}, S'_{R,2})$  順序組成，後續將計算手寫注音「儿」與參考注音「儿」的相異值。

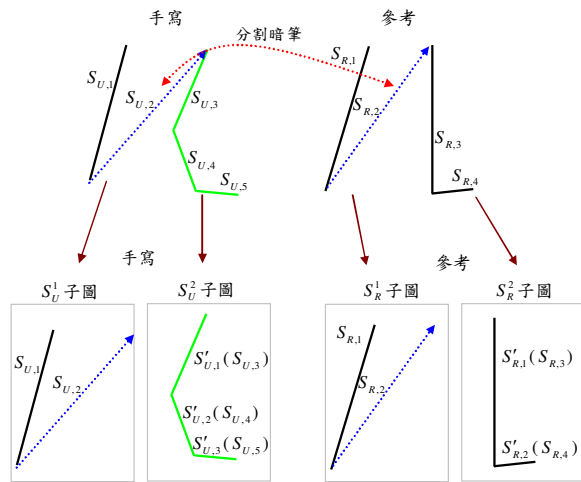


圖 17. 經過上一節動態規劃的手寫注音「儿」與參考注音「儿」，其暗筆對應為  $S_{U,2}$  對  $S_{R,2}$ ，根據暗筆對應手寫注音分割成  $S_U^1$  子圖和  $S_U^2$  子圖，參考注音分割成  $S_R^1$  子圖和  $S_R^2$  子圖。

以圖 17 為例， $S_R^1$  子圖不是手寫注音「儿」的最後一筆劃，因此  $S_U^1$  子圖比對  $S_R^1$  子圖無使用合併的動態規劃，利用上一節動態規劃即可得知其相異值為 191。 $S_R^2$  子圖是參考注音「儿」的最後一筆劃，因此  $S_U^2$  子圖比對  $S_R^2$  子圖有使用限制性合併動態規劃，圖 18(a) 為圖 17 手寫注音「儿」與參考注音「儿」的最後一筆劃之限制性合併動態規劃比對最佳結果和線段對應，其中有一筆紅色線段的箭頭是使用合併，而所計算的最小相異值為 314，因此可得知手寫注音「儿」其最小總相異值為 505(=314+191)；其中對應之二筆線段以虛線相連，例如手寫線段  $S'_{U,1}$  和  $S'_{U,2}$  合併成一筆新的線段對應參考線段  $S'_{R,1}$ ，線段  $S'_{U,3}$  對應線段  $S'_{R,2}$ 。圖 18(b) 為最後一筆劃使用上一節動態規劃比對（不使用合併功能）之最佳結果和線段對應，得出的最小相異值為 1290，其中對應之二筆線段以虛線相連，例如手寫線段  $S'_{U,1}$  對應參考線段  $S'_{R,1}$ ，線段  $S'_{U,2}$  則為刪除，線段  $S'_{U,3}$  對應線段  $S'_{R,2}$ 。由圖 18 可得知使用限制性合併是有助於辨識率的提高。圖 19(a) 是以圖 17 手寫注音「儿」與 37 個參考注音各別進行動態規劃（針對特定注音使用限制性合併動態規劃）所計算的相異值後，所取得前十名參考注音和相異值，得出的結果是非常好，第一名候選注音是「儿」即為正確音符號，圖 19(b) 則是無使用限制性合併動態規劃的前十

名候選注音。由圖 19 可知，手寫注音「儿」在最後一筆劃中多出一筆較長的額外線段 ( $S'_{U,2}$ )，將此筆線段刪除的成本遠大於合併的成本，故可得知使用限制性合併動態規劃，可明顯降低其相異值。若參考注音為「ㄋ」注音時，因只有一筆劃所以無暗筆對應，則  $S_U(S_R)$  分成  $S_U^1(S_R^1)$  子圖和  $S_U^2(S_R^2)$  子圖，其  $S_U^1(S_R^1)$  子圖為空集合，所以  $S_U(S_R)$  的全部線段會屬於  $S_U^2(S_R^2)$  子圖。

|            | $S'_{R,1}$ | $S'_{R,2}$ |
|------------|------------|------------|
| 0          | 1386       | 2012       |
| $S'_{U,1}$ | 785        | 553        |
| $S'_{U,2}$ | 1345       | 137        |
| $S'_{U,3}$ | 1744       | 536        |

|            | $S'_{R,1}$ | $S'_{R,2}$ |
|------------|------------|------------|
| 0          | 1386       | 2012       |
| $S'_{U,1}$ | 785        | 553        |
| $S'_{U,2}$ | 1345       | 1113       |
| $S'_{U,3}$ | 1744       | 1512       |

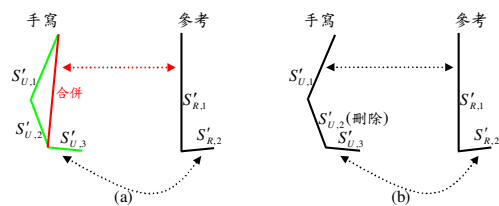


圖 18. (a) 以圖 17 手寫注音「儿」與參考注音「儿」的最後一筆劃使用限制性合併動態規劃比對結果和線段對應，其第一筆劃的相異值為 191，加上最後一筆劃為手寫注音「儿」與參考注音「儿」的總相異值為 505(=191+314)，(b) 使用上一節動態規劃比對結果和線段對應，其第一筆劃的相異值為 191，加上最後一筆劃為手寫注音「儿」與參考注音「儿」的總相異值為 1481(=191+1290)，由此可看出使用合併限制動態規劃有助於降低其相異值之數

| 候選注音 | 相異值  |
|------|------|
| 儿    | 505  |
| ㄚ    | 2250 |
| ㄍ    | 2263 |
| ㄣ    | 3083 |
| ㄇ    | 3339 |
| ㄌ    | 3649 |
| ㄨ    | 3710 |
| ㄣ    | 3786 |
| ㄣ    | 3797 |
| ㄣ    | 3873 |

(a)

| 候選注音 | 相異值  |
|------|------|
| 儿    | 1481 |
| ㄚ    | 2250 |
| ㄍ    | 2400 |
| ㄣ    | 3083 |
| ㄇ    | 3339 |
| ㄌ    | 3649 |
| ㄨ    | 3710 |
| ㄣ    | 3786 |
| ㄣ    | 3797 |
| ㄣ    | 3873 |

(b)

圖 19. (a) 使用限制性合併動態規劃手寫注音「儿」前十名候選注音選取結果(b) 無使用限制性合併動態規劃手寫注音「儿」的前十名候選注音選取結果，其中可看出有使用限制性合併(藍色底色)的手寫注音「儿」比沒有使用限制性合併的手寫注音「儿」分數更低



## 8、常用之變異筆順注音字形探討

本節為了因應每個人書寫注音不同筆順，於表 5 列出 12 個有變異筆順字形的注音，其中每個字形均標示筆劃順序，第 1 個字形為標準筆順字形，第 2 個字形起為變異筆順字形；注音符號參考資料庫除了包含原來 37 個參考注音之標準筆順字形外，並包含本表中所有注音符號的變異筆順字形，以強化辨識效果。

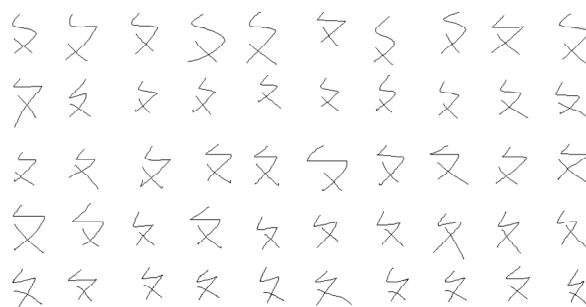
例如手寫注音「ㄨ」要比對參考注音「ㄨ」時，手寫注音「ㄨ」會各別和注音符號參考資料庫中的標準筆順參考注音「ㄨ」及變異筆順參考注音「ㄨ」作動態規劃，並取最小的相異值作為手寫注音「ㄨ」和參考注音「ㄨ」的比對結果。如果該參考注音無變異筆順字形，則只需要比對標準筆順參考注音。

**表 5. 12 個注音及其 18 個變異筆順字形(每個注音的第 1 個字形為標準筆順字形，第 2 個字形起為變異筆順字形)**

| 注音 | 標準和變異筆順字形 | 注音 | 標準和變異筆順字形 |
|----|-----------|----|-----------|
| ㄇ  |           | ㄍ  |           |
| ㄈ  |           | ㄣ  |           |
| ㄎ  |           | ㄣ  |           |
| ㄩ  |           | ㄨ  |           |
| ㄨ  |           | ㄗ  |           |
| ㄗ  |           | ㄗ  |           |
| ㄘ  |           | ㄘ  |           |
| ㄙ  |           | ㄙ  |           |

## 9、實驗

本節為量測本系統之實際辨識效能，每個注音將由使用者手寫五十次(圖 20)，共有 1850(=37\*50)個手寫注音字形待辨識，如表 6，有 1849 個手寫注音辨識為正確注音排名第一(即 99.95%的第一名正確率)，1 個手寫注音辨識後正確注音排名第二(第二名累積正確率 100%)，這個第二名如圖 21，其手寫注音「ㄨ」被辨識為「ㄣ」注音。



**圖 20. 正常手寫注音「ㄨ」50 個**

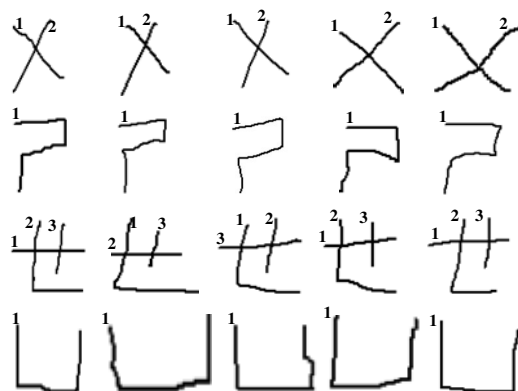


**圖 21. 錯誤注音，「ㄣ」  
認成「ㄨ」**

**表 6. 1850 個手寫注音排名統計**

| 正確注音排名 | 手寫注音個數 | 累積百分比  |
|--------|--------|--------|
| 1      | 1849   | 99.95% |
| 2      | 1      | 100%   |
| 10     | 0      | 100%   |
| >10    | 0      | 100%   |

圖 22 是手寫注音變異筆順的圖示，在圖中分別列示手寫注音「ㄨ」、「ㄩ」、「ㄗ」及「ㄘ」各 5 個，而實驗手寫注音變異筆順時，本論文共建立 1200 個變異筆順的手寫注音符號，實驗後，1200 個變異筆順手寫注音之辨識效果如表 7，辨識率為 100%。



**圖 22. 變異筆順的手寫注音，並且有表示其筆順的順序**

表 7. 1200 個變異筆順手寫注音排名統計

| 正確注音排名 | 手寫注音個數 | 累積百分比 |
|--------|--------|-------|
| 1      | 1200   | 100%  |
| 2      | 0      | 100%  |
| 10     | 0      | 100%  |
| >10    | 0      | 100%  |

為測試中文字之正確注音組合手寫辨識能力，圖 23(a)是本系統提供使用者手寫方格，中文字之正確注音組合共分五種聲調，範例寫法如圖 23(b)，其輕聲符號位於手寫方格最上方特定位置，二、三及四聲符號位於手寫方格最右方特定位置，右方特定位置之聲調符號將會各別使用動態規劃以確定其為二、三及四聲之一。依統計 5,401 常用中文字的組合注音共有 1211 個(輕聲 17 個，一聲 307 個，二聲 250 個，三聲 298 個，四聲 339 個)，本論文共書寫了 6,055(=1,211\*5)個手寫注音組合，表 8 顯示辨識率為 100%。

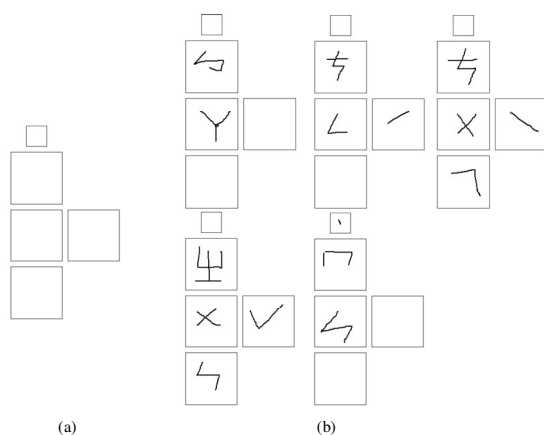


圖 23. (a)使用者手寫方格，(b)展示 1 到 4 聲和輕聲的手寫注音

表 8. 6055 個組合手寫注音排名統計

| 正確注音排名 | 手寫注音個數 | 累積百分比 |
|--------|--------|-------|
| 1      | 6055   | 100%  |
| 2      | 0      | 100%  |
| 10     | 0      | 100%  |
| >10    | 0      | 100%  |

## 10、結論

本論文提出之手寫注音辨識系統，實驗證明手寫注音辨識確實可達高辨識率，而且注音總筆劃又遠比中文字的筆劃數少，所以書寫時

間更能大幅度的減少，更適合用於以小型設備輸入中文字之需求。未來，本辨識系統將朝下列方向發展：

- (1) 去除手寫方格，以便使用者手寫方便。
- (2) 增加數字、英文、標點符號的手寫辨識。
- (3) 成功辨識組合注音後，必須從同音候選中文字中選取正確中文字，所以將繼續開發語音選擇候選中文字功能，例如每頁最多呈現十個候選中文字，因此可直接用語音輸入0~9選擇其中一個候選中文字，若中文候選字多於一頁，可用語音上下換頁，例如語音「上」及「下」各代表往前及往後翻中文候選字頁等功能。

## 參考文獻

- [1] <http://www.motorola.com>
- [2] <http://www.nokia.com>
- [3] <http://www.sagem-online.com>
- [4] Jungpil Shin, "On-line cursive hangul recognition that uses DP matching to detect key segmentation points", PATTERN RECOGNITION, Vol 37, pp2101-2112, 2004
- [5] M. Dehghan, K. Faez, M. Ahmadi, M. Shridhar, "Handwritten Farsi (Arabic) word recognition a holistic approach using discrete HMM", PATTERN RECOGNITION, Vol 34, pp1057-1065, 2001
- [6] 蔡義泰, "利用分解與合併技巧以模式導引屬性字串比對作物體形狀辨識及連線中文字辨識", 博士論文, 國立交通大學資訊工程所, 1989
- [7] 李肇浩, 智慧型技術用於線上手寫中文辨識之研究, 國立中央大學光電科學研究所, 民國 85 年 6 月。
- [8] 周國森, 結構式特徵用於線上手寫中文文字的辨認, 國立中央大學資訊工程研究所, 民國 86 年 6 月。
- [9] 孫永昌, 紙本手寫國語注音符號辨識系統之研究, 國立台中師範學院教育測驗統計研究所, 民國 91 年 7 月。
- [10] 黃昕暉, 線上手寫注音符號辨識系統, 國立交通大學資訊工程研究所, 民國 82 年 6 月。
- [11] 謝瑞峰, 模糊理論用於線上手寫注音符號辨識之研究, 逢甲大學自動控制工程研究所, 民國 82 年 6 月。